

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

J anténa

J antenna

Rok 2013

Lukáš Unzeitig

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Unzeitig**
Studijní program: **B2647 Informační a komunikační technologie**
Studijní obor: **2601R013 Telekomunikační technika**
Téma: **J anténa**
J Antenna

Zásady pro vypracování:

J anténa je specifický typ antény. Práce si klade za cíl popis antény a konstrukci praktického modelu.

Vypracování práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popište základní princip funkce "J" antény.
2. Realizujte praktický model "J" antény na zadaný kmitočet.

Seznam doporučené odborné literatury:

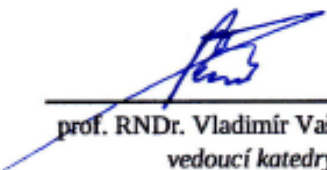
BALANIS, Constantine. *Antenna Theory : Analysis and design*. 3rd edition. United States : Wiley, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 5.5. 2013


podpis student

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je J anténa. Výhodou této antény je její konstrukční jednoduchost. V úvodu práce jsou všeobecně popsány základní vlastnosti antén. Následující částí je teoretický popis, historie a vlastnosti J antény. Následně je uveden návrh v programu 4NEC2 a výpočty. Další část práce se zabývá stavbou samotné antény, která je poté zkonstruována a proměřena analyzátozem RigExpert AA-520.

Klíčová slova

Anténa, impedance, J, odpor, SWR

Abstract

The topic of this work is the J antenna. The advantage of this antenna is its structural simplicity. In the introduction generally describes the basic properties of antennas. The following part is the theoretical description, history and characteristics J antenna. Subsequently, the above proposal in the 4NEC2 and calculations. Another part deals with the construction of the antenna itself, which is then constructed and measurement analyzer RigExpert AA-520.

Key words

Antenna impedance, J, resistance, SWR

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
c	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Rychlost světla
C	F	Kapacitance
E	dB	Intenzita elektromagnetického pole
f	Hz	Kmitočet
G	dB	Výkonový zisk
I	A	Proud
k	-	Zkracovací činitel
l	m	Délka
L	H	Indukčnost
P	W	Výkon
R	Ω	Odpor
U	V	Napětí
X	Ω	Reaktance
Z	Ω	Impedance
λ	m	Vlnová délka

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
DV	Long wave	Dlouhé vlny
FM	Frequency modulation	Frekvenční modulace
KV	Short wave	Krátké vlny
SV	Medium wave	Střední vlny
SWR	Standing Wave Ratio	Poměr stojatých vln(PSV)
VKV	Very short wave	Velmi krátké vlny

Obsah

1	Úvod	1
2	Základní vlastnosti antén	2
2.1	Základní dělení antén	2
2.1.1	Základní typy antén	2
2.2	Charakteristické vlastnosti antén	3
2.2.1	Rezonanční kmitočet	3
2.2.2	Šířka pásma	3
2.2.3	Vyzařovací charakteristika	4
2.2.4	Vyzařovací úhly	4
2.2.5	Napájení	4
2.2.6	Poměr stojatých vln	5
2.2.7	Zisk	6
2.2.8	Vstupní impedance	6
3	J anténa	8
3.1	Historie	8
3.2	Typické vlastnosti antény	8
3.2.1	Materiály	10
3.2.2	Zkracovací Element (činitel)	10
3.2.3	Napájení	10
3.2.4	Montáž antény	10
3.2.5	Využití	11
3.2.6	Výhody:	11
3.2.7	Nevýhody:	11
3.3	Variace Slim Jim	11
4	Realizace vlastní J antény	13
4.1	Návrh	13
4.2	Simulace v programu 4NEC2	14
4.3	Realizace antény	19
4.3.1	Postup realizace	20
4.3.2	Ověření parametrů měřením	20
4.3.3	Zhodnocení měření	23

5	Závěr.....	25
	Použitá literatura	26
	Seznam příloh.....	XXVII

1 Úvod

V této bakalářské práci bude představena J anténa (neboli J-pól nebo Zepp antena). Jedná se o anténu, která je relativně konstrukčně jednoduchá. J anténa je nenáročná na materiál a následně i sestavení. Ve výsledku dosahuje parametrů půleného dipólu.

V druhé kapitole budou probrány antény všeobecně, kde rozebereme základní dělení, parametry a principy.

Třetí kapitola se zabývá J anténou po teoretické stránce. Popisuje její vlastnosti, historii, klady a zápory a také využití.

V poslední kapitole jsou vypočítány všechny potřebné parametry pro stavbu antény a provede se simulace v programu 4NEC2. Následně bude anténa sestavena a budou provedena potřebná měření analyzátozem. Získaná data budou zaznamenána a bude doložena rovněž i fotodokumentace.

Závěrem budou shrnuta všechna zjištění z reálného měření a budou porovnány s teorií.

2 Základní vlastnosti antén

Anténa je zařízení, které přijímá nebo vysílá rádiové signály. Funguje na principu transformace elektromagnetické vlny na vysokofrekvenční energii. Je to nejdůležitější část rádiového zařízení a nelze ji nijak nahradit.

2.1 Základní dělení antén

Anténa je část vysokofrekvenčního vedení upravená tak, aby účinně vyzařovala energii do prostoru. Antény se dělí na přijímací a vysílací (v konečném principu ale může každá anténa vysílat i přijímat).

- vysílací anténa je určena k přeměně elektrické energie na energii elektromagnetických vln
- přijímací anténa naopak slouží k přeměně energie elektromagnetických vln na elektrickou energii.

Dnes známe antény pro DV, SV, KV a VKV (dlouhé vlny, střední vlny, krátké vlny a velmi krátké vlny). Pro tyto antény je charakteristické, že jejich rozměry jsou malé, hlavně v porovnání s délkou vln. Anténa může mít různá provedení, výjimkou jsou antény pro VKV, jejichž rozměr je obvykle čtvrtina nebo polovina vlnové délky.

Délka antény musí být příslušným násobkem (zlomkem) vlnové délky, která je nepřímo úměrná ke kmitočtu, podle vzorce:

$$\lambda = \frac{c}{f} [\text{m}] \quad (2.1)$$

kde jsou: λ - vlnová délka [m], c - rychlost světla ve vakuu ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$), f - kmitočet [Hz].

Se zvyšující se frekvencí klesá vlnová délka. Zároveň jsou rozměry antény menší. Výsledek se pak spíše než v metrech vyjadřuje jako násobek vlnové délky λ .

2.1.1 Základní typy antén

- **vertikální zářič** – známe ho v provedení nesymetrickém, kdy jedna část je u země odizolována tzv. patním izolátorem. Tyto antény se většinou používají pro velký výkon, např. stožárové vysílače.
- **drátová anténa** – nejjednodušší anténa, která může být ve vertikální nebo horizontální formě. Rozměry antény jsou takřka libovolné, ale parametry poměrně špatné.
- **rámová anténa** - Tato speciální anténa pro nižší kmitočty se směrovým účinkem je vlastně laděný paralelní obvod s velikou cívkou. Funguje na principu indukce magnetické složky elektromagnetického vlnění ve vinutí cívky.
- **feritová anténa** – je tvořena feritovou tyčinkou 10–15 cm dlouhou o průměru do 1 cm, na tuto tyčinku je navinuta cívka. Výhoda této antény je, že ferit má značnou permeabilitu a proto dobře soustřeďuje magnetické pole.

- **parabolická anténa**
- **příčné anténní soustavy** - tyto antény jsou zpravidla širokopásmové. Příčné soustavy mají anténní prvky, tj. zářič s jedním reflektorem, umístěny v rovině kolmé na směr vln. Jako aktivní zářič se používá celovlnný dipól. V místě nulového napětí, tedy ve středu dipólu můžeme uzemnit a zároveň připevnit k anténní konstrukci. Nevýhodou této antény je malá směrovost. Největší využití mají ve 4. a 5. televizním pásmu.

K příjmu VKV a vyšších pásem se používají tzv. laděné dipóly. Je to laděná anténa, která má geometrickou délku, odpovídající přibližně polovině vlnové délky elektromagnetické vlny. V tomhle případě se jedná např. o YAGI anténu.

2.2 Charakteristické vlastnosti antén

Zde bude uveden jen vybraný vzorek typů, jelikož antén je dnes velké množství.

2.2.1 Rezonanční kmitočet

Anténa je otevřený rezonanční obvod, kde jsou indukčnost a kapacita zastoupeny vodičem, pro který platí, že jeho délka je mnohem větší než jeho šířka. Délka vodiče musí být násobkem délky vlny, neboli ekvivalentem obvodu RLC v rezonanci. Rezonanční kmitočet závisí také na výšce umístění antény (kapacita mezi deskami „otevřeného“ kondenzátoru). [1]

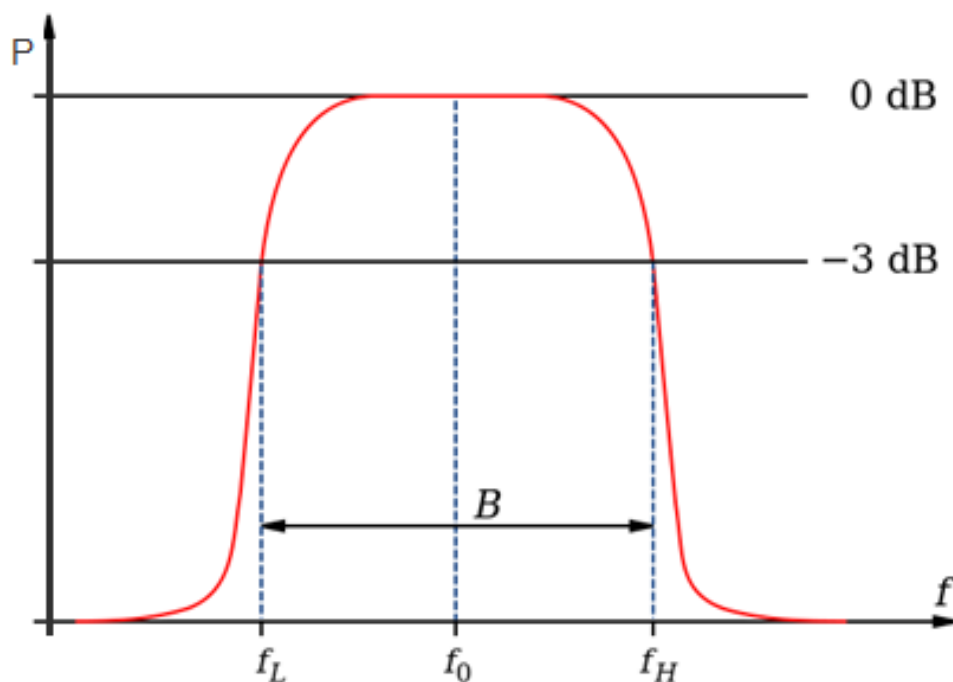
Závislost mezi kapacitou, indukčností a kmitočtem v rezonančním obvodu vyjadřuje rovnice rezonanční frekvence:

$$f_{\text{rez}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

kde: f - kmitočet [Hz], L - indukčnost [H], C - kapacita [F].

2.2.2 Šířka pásma

Šířka pásma se určuje z charakteristiky úrovně elektromagnetického pole E , ta je dána funkcí kmitočtu. Při rezonančním kmitočtu se určí maximální intenzita elektromagnetického pole E_{max} , následně se od této hodnoty odečtou 3 dB a určí se dolní kmitočet f_d a horní kmitočet f_h . Šířka pásma je dána rozdílem kmitočtů $f_h - f_d$ a označuje se B (Obr.2.1). Hodnota -3 dB znamená pokles maximální úrovně elektromagnetického pole o $\frac{1}{\sqrt{2}}$.



Obrázek 2.1

2.2.3 Vyzařovací charakteristika

Každá anténa má svou vyzařovací charakteristiku. Charakteristika je 3D, při zkoumání antén se zobrazuje vertikální nebo horizontální řez. Je to schopnost antény vyzářit do prostoru signál pod určitými úhly (Obr. 4.6 – 4.8, viz str.18).

2.2.4 Vyzařovací úhly

Antény nevyzařují stejnou intenzitou v každém směru od antény, existuje vždy směr nejsilnějšího záření nebo také nejslabšího. Každá anténa vysílá hlavní svazek pod určitým charakteristickým úhlem. Intenzita vyzařování v tomto směru se zvolí jako referenční hodnota. Intenzita vyzařování v ostatních směrech je vyjádřena odečtením této přijaté referenční hodnoty v decibelech. V reálu hovoříme o úhlech vyzařování ve dvou polarizačních rovinách.

U antény s vertikální polarizací je důležitý úhel ve vertikální polarizaci, protože v horizontální rovině mají nejčastěji všesměrovou charakteristiku, která většinou závisí na druhu uzemnění. Úhel vyzařování zásadně ovlivňuje dosah spojení. V rovinném terénu budou účinnější antény s malým úhlem vyzařování. Naopak v hornatém terénu se budou lépe chovat antény s velkým úhlem vyzařování.

2.2.5 Napájení

Kabel vedoucí z radiostanice k anténě se nazývá vf (vysokofrekvenční) napáječ. Nezáleží na tom, zda slouží k přívodu energie z vysílače nebo vede do přijímače. Jeho vlastnosti ovlivňují kvalitu vysílání i příjmu. K napájení se nejčastěji používá koaxiální kabel s charakteristickou impedancí 50 nebo 75 Ω . Použití jiného napáječe mohou způsobit zhoršení příjmu signálu. Napáječe se dělí na symetrické a nesymetrické.

- symetrické vedení má sudý počet rovnoběžných vodičů, patří tam např. dvojlinka nebo koaxiální pár, tato vedení mají vlnovou impedanci $Z=300\ \Omega$
- nesymetrické vedení má jen jeden vodič, druhý je zastoupen zemí nebo stíněním, typickým příkladem je koaxiální kabel, největší výhodou koaxiálních vedení je malé vyzařování a velká odolnost proti vnějšímu rušení, nevýhodou je spojování konektory a vyšší pořizovací cena

2.2.6 Poměr stojatých vln

Vedení, zabezpečující přenos vysokofrekvenční energie, pracují optimálně tehdy, když zatěžovací impedance Z_k je rovna charakteristické impedanci Z_{0V} . Říkáme, že zátěž je přizpůsobená. Stav přizpůsobení je optimální z mnoha hledisek: na vedení je jen přímá postupná vlna a účinnost přenosu je největší, vstupní impedance vedení je reálná a stálá, napětí a proudy na vedení jsou při daném přenášeném výkonu nejmenší. Nulová odražená vlna je také podmínkou bezchybné funkce některých systémů a zařízení. Je proto samozřejmé, že se snažíme stavu přizpůsobení dosáhnout. Když prvek (zařízení) na konci vedení podmínku přizpůsobení nesplňuje ($Z_k \neq Z_{0V}$), a to bývá často, je nutné zapojit mezi vedení a zátěž *přizpůsobovací obvod*. Ten transformuje impedanci zátěže Z_k na hodnotu Z_{0V} . Podmínku $Z_k = Z_{0V}$ není vždy možné splnit úplně přesně. Pak se snažíme stavu přizpůsobení alespoň přiblížit. V takových případech má smysl zavést nějaké kritérium kvality přizpůsobení. Kvalita přizpůsobení se většinou hodnotí podle velikosti poměru stojatých vln na vedení anebo podle absolutní hodnoty činitele odrazu. Obě tyto veličiny by měly být co nejmenší (ideálně $PSV = 1$, $\rho = 0$). Co je "dobré" a co "špatné" přizpůsobení, to je pochopitelně relativní a závisí na náročnosti systému, ve kterém je vedení použito. Pro základní orientaci lze uvést následující hodnoty:

- velmi dobré přizpůsobení: $PSV < 1.1$ (televizní vysílače)
- dobré přizpůsobení: $PSV < 1.5$ až 2 (běžná zařízení)
- vyhovující přizpůsobení: $PSV < 3$ až 5 (nenáročná zařízení)

Poměr stojatých vln vypočítáme následujícím způsobem:

$$PSV = \frac{1 + |K|}{1 - |K|} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_{\text{přímá}} + U_{\text{odraz}}}{U_{\text{přímá}} - U_{\text{odraz}}} [-] \quad (2.3)$$

$$PSV = \begin{cases} Z_{in} > Z_N \rightarrow \frac{Z_{in}}{Z_N} \\ Z_{in} < Z_N \rightarrow \frac{Z_N}{Z_{in}} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$1 \leq PSV \leq \infty \quad (2.5)$$

Kde K je činitel odrazu, Z_{in} je impedance zátěže (antény); Z_N je charakteristická impedance napáječe, U_{odraz} je amplituda napětí odražené vlny, U přímá je amplituda napětí přímé vlny.[6]

2.2.7 Zisk

Základním parametrem, který charakterizuje účinnost antény, je výkonový zisk G . Výkonový zisk vyjadřuje logaritmus podílu intenzity indukovaného pole (EI) nebo výkonu (PI) zkoumané antény a referenční antény ($E0, P0$): [1]

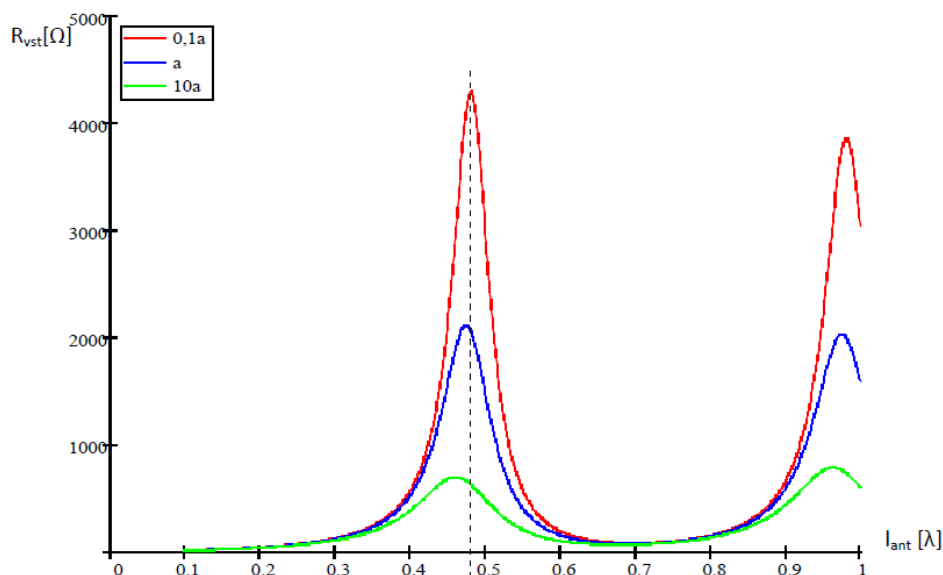
$$G = 20 \log \frac{E_1}{E_0} = 10 \log \frac{P_1}{P_0} = [\text{dB}] \quad (2.6)$$

Výkonový zisk určuje, kolikrát je třeba zvýšit výkon referenční antény vzhledem ke zkoumané anténě, pro dosažení stejné intenzity pole v měřeném bodě. Referenční anténa se používá buď izotropická anténa (jednotkou výkonu je dB_i) nebo půlvlnný dipól (jednotkou výkonu dB_d , častěji se místo jednotky dB_d setkáme jen s označením dB) $\text{dB}_i = 2,16 + \text{dB}_d$.

2.2.8 Vstupní impedance

Obsahující definice impedance je, poměr napětí a proudu nebo poměr elektrické a magnetické složky elektromagnetického pole v daném místě antény. Anténa po připojení k přijímači nebo vysílači představuje určitou impedanci. Nejčastěji je třeba znalost impedance v místě připojení na napáječ, jedná se o vstupní impedanci antény. Velikost vstupní impedance antény je velmi důležitá pro přizpůsobení antény k napáječi a přijímači či vysílači.

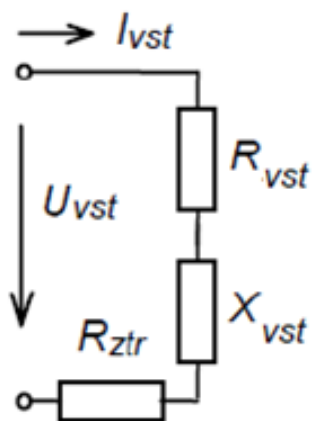
$$Z_{vst} = (R_{ztr} + R_{rvst}) + j \cdot X_{rvst} [\Omega] \quad (2.7)$$



Obrázek 2.3¹ [6]

¹ Průběh reálné části vstupní impedance symetrického dipólu v závislosti na délce antény $l_{ant} [\lambda]$ pro štíhlostní koeficienty $\Omega = 16, 12$ a 7 (poloměry zářičů $0.1a, a, 10a$) (štíhlostní koeficient udává o kolik má být reálný dipól kratší, aby v něm nedocházelo k proudovým ztrátám)

Vstupní impedance antény Z_{vst} má komplexní charakter, tedy obsahuje vstupní odpor R_{vst} (reálná část) a vstupní reaktanci X_{vst} (imaginární část). Navíc má anténa ještě ztrátový odpor R_{ztr} , který mění vysokofrekvenční energii na teplo.



Obrázek 2.4 Náhradní schéma antény

3 J anténa

V této kapitole bude teoreticky rozebrána J anténa. Od jejího vyvinutí, přes vlastnosti, klady a zápory a následně, v další kapitole, bude vše převedeno do praxe.

3.1 Historie

Vynálezcem je Frederick Charles Judd, který se narodil v roce 1914 ve Woodfordu ve východním Londýně. Tak jako u mnoha jeho vrstevníků se projevila velká a neutuchající vášně pro rádio. S vypuknutím 2. světové války sloužil u RAF Coastal Command a pracoval s vysoce tajným radarovým zařízením. Také byl průkopníkem elektronické hudby s Tristram Cary zabývající se podobnou prací v královském námořnictvu. Oba muži byli později v kontaktu a používali své kvalifikované technické zázemí pro rozvoj jejich hudebních zájmů prostřednictvím elektroniky. Fred neměl žádné formální hudební vzdělání, ale uměl hrát na kytaru a varhany. A zdá se, že kombinace hudby, rádia, nahrávání a obvodů jej nevyhnutelně přitáhlo k experimentování s elektronickou hudbou v polovině roku 1950.[2]

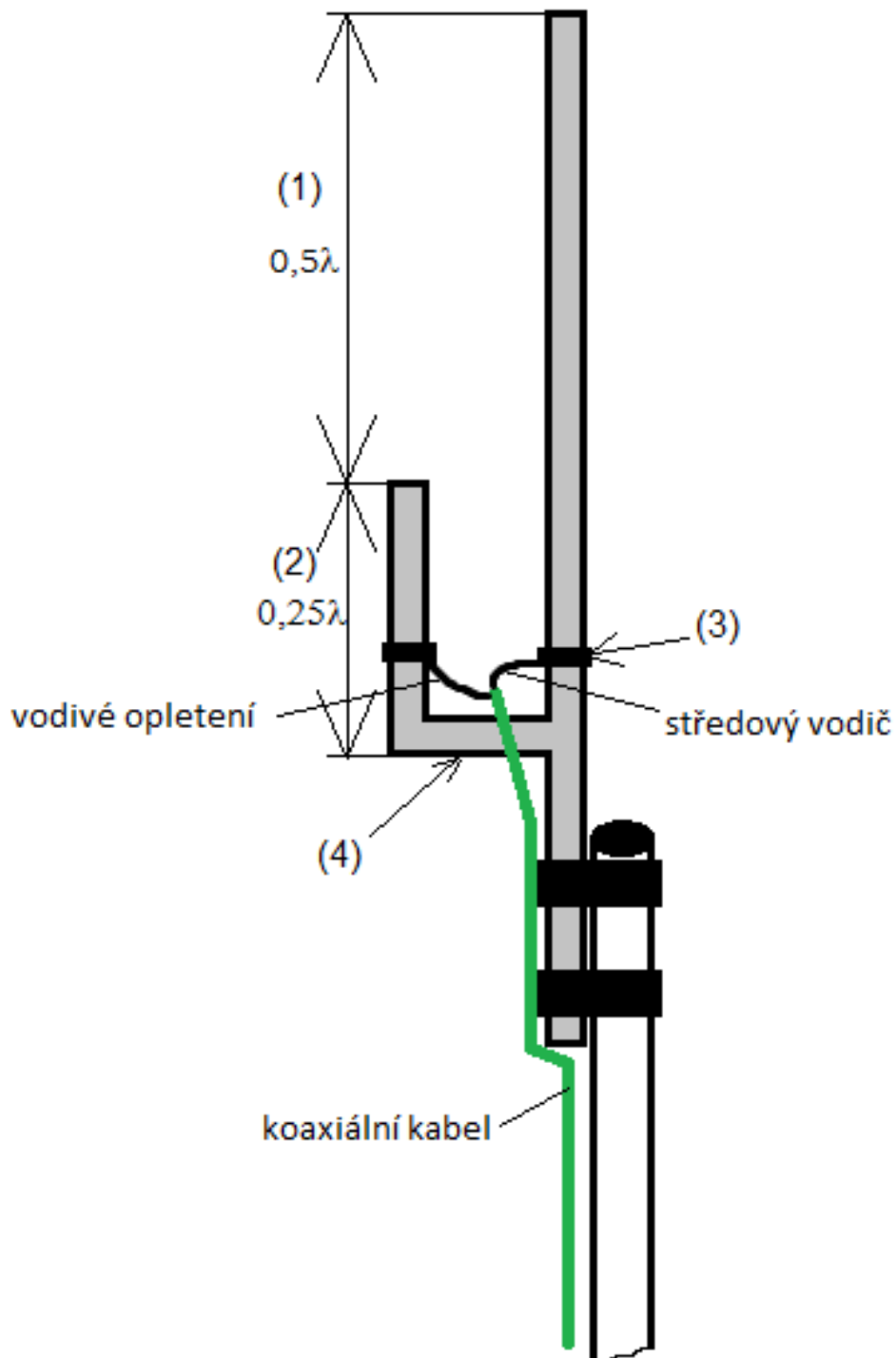
Jeho hlavní zásluhou je zdokonalení původní německé konstrukce Zeppelin Antény, kterou Němci používali u vzducholodí. Kde se skládala pouze z jednoho půlvlnného prvku připojeného za vzducholodí (1) (Obr. 3.1).



3.2 Typické vlastnosti antény

J – anténa (Obr. 3.2) je sestavena ze dvou částí, jedná se o zářič (1) a budič (2). Anténa je upravený půlvlnný dipól, napájený na jejím konci, kde kratší konec tvoří transformační úsek v linii zářiče. Tvar antény se podobá písmenu J, odtud název. Potřebná impedance se nastavuje pomocí posouvání bodu připojení koaxiálního kabelu ve spodní části písmena J (3), která má různou impedanci, tvořící čtvrt-vlnný transformátor. Nastavení nutno provést s pomocí reflektometru. Ačkoliv celková délka antény je $\frac{3}{4}$ lambdy, jedná se stále o půlvlnný dipól se ziskem 0 dB, ovšem s výbornými praktickými výsledky. Hlavní výhodou této antény je nulové napětí na zkracovacím můstku (4), který je možné spojit přímo se zemí a vytvořit tak účinnou ochranu vůči následkům úderu blesku. Jediná nevýhoda je její poměrná úzkopásmovost, ale při použití jen na jednom kmitočtu (např. 144-146 MHz) nám plně vyhovuje.[3]

Tím, že použijeme většího průměru vyzařujícího prvku lze pak větší šířku pásma realizovat s fyzicky menší anténou.



Obrázek 3.2 J-anténa [3]

3.2.1 Materiály

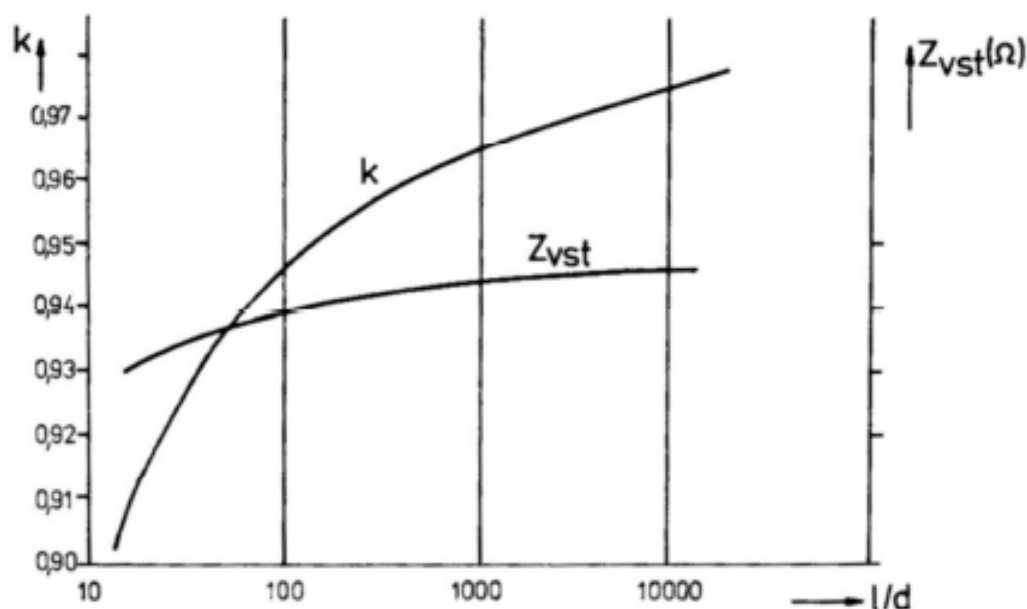
Hlavní podmínky pro výběr správných materiálů pro výrobu jsou:

- kde bude anténa umístěna
- vlivy počasí
- způsob uchycení přenosového vedení k anténě.

Některé možné materiály jsou hliníkové trubky, dráty, měděné pásy a měděné trubky.

3.2.2 Zkracovací Element (činitel)

Zkracovací činitel k udává výrobce a pohybuje se mezi čísly 0,66 až 0,98. Ve vakuu je rychlost šíření vln $3 \cdot 10^8 \text{ km.s}^{-1}$, kdežto v kabelech je nižší. Zkracovací činitel je uváděn v obchodě na dotaz, případně je napsán v katalogu dodavatele. Například při frekvenci $f = 30\text{MHz}$ je $\lambda = 10\text{m}$ (vlnová délka – délka jedné vlny $= 1/f$) .[7]



Obrázek 3.3 Průběh štiřlostního koeficientu [8]

3.2.3 Napájení

Půlvlnová horizontální anténa se nejjednodušeji napájí v tom bodu antény, kde je reaktivní složka vstupní impedance rovna nule, impedance se pak vyjádří rezistivní složkou. [5]

Napájecí vedení mohou být připojeny pomocí běžně dostupných svorek. Někteří návrháři doporučují použít šrouby, ale nedoporučují to, může to pak oslabit prvky a poskytnout otvor pro vodu, která pak může prosakovat do antény.

3.2.4 Montáž antény

Anténa může být připevněna na všechny nosné konstrukce, včetně kovových. V ideálním případě by anténa měla být namontována nejméně na čtvrtinovou-vlnovou délku všech kovových konstrukcí.

3.2.5 Využití

Tento typ antény se stal populární u provozovatelů amatérských rádiových stanic, protože je efektivní a poměrně snadno lze vybudovat. V historii byly tyto antény využívány německou armádou ve 2. světové válce. Antény jsou také využívány pro tzv. ARES/RACES (Mimořádné Amatérské Rádio Služby / Radioamatérské civilní nouzové služby).

3.2.6 Výhody:

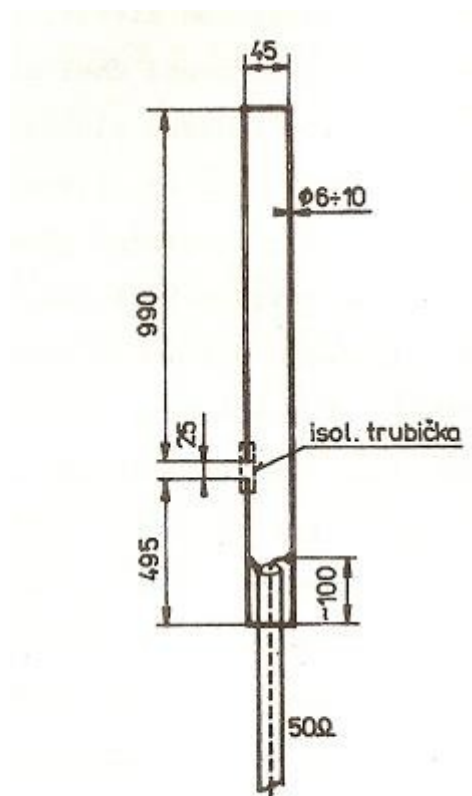
- dá se přímo uzemnit (bezpečnost při špatném počasí)
- nepotřebuje umělou zem
- asymetrický napáječ a impedance 50 Ω - takže se dá bezproblémově spojit se stanicí
- nejvíc vhodná pro VKV pásma

3.2.7 Nevýhody:

- jde používat jen na jednom pásmu
- méně vhodná pro KV pásma
- vysoká impedance na otevřeném konci antény (nebezpečí úrazu vysokým napětím)

3.3 Variace Slim Jim

Je jedna z variant antény typu "J" se stejným připojením napájecího kabelu. Jediný rozdíl je, že její zářič je proveden jako skládaný, čímž získává poměrně velkou širokopásmovost. Někdy se u této antény uvádí zisk 3dB, ale je to jen efekt nízkého vyzařování, jako u GP (ground plane anténa) se skloněnými radiály, skutečný zisk je opět 0 dB. Anténa Slim Jim se upevňuje izolovaně od stožáru na elektroinstalační krabičku. Anténa Slim Jim (Obr. 3.3) má jednu velikou výhodu, je možné ji improvizovaně vyrobit i z kusu drátu jakéhokoli průměru na násadě od smetáku. Důležité je pouze správné nastavení, to znamená připojení kabelu ve správném místě ve spodní části dle údajů reflektometru. Je to asi nejsnáze zhotovitelná levná anténa s nízkým vyzařovacím úhlem a poměrně velkou širokopásmovostí.[4]



Obrázek 3.4 Slim Jim [4]

4 Realizace vlastní J antény

Pro sestavení antény byl zadán rezonanční kmitočet 144 MHz. Jedná se o radiové pásmo 144 - 146 MHz (neboli 2 metry, 2M). Je to celosvětové pásmo určené pro radioamatéry. 2M amatérská skupina podporuje širokou škálu rádiového provozu. Velké části pásma jsou určeny pro frekvenčně modulovaný (FM) provoz, v souladu s používáním režimu frekvenční modulace. Mezi nejčastější 2M soupravy řadíme základní FM mobilní nebo ruční radiostanice. Tyto rádia lze ladit na celém pásmu 2m od 144 MHz do 146 MHz v 5 kHz krocích. Využití kanálů je důležité zejména pro opakovací, protože neumí snadno měnit frekvenci a jsou koordinovány, aby se minimalizovalo rušení. Cílem je, aby byly všechny stanice používající frekvence, které jsou od sebe vzdáleny jen tak daleko od sebe, aby se přizpůsobil signál, aniž by zasahoval do sousedních kanálů.

4.1 Návrh

Použitím vzorce pro výpočet vlnové délky nalezneme geometrické míry antény.

Délka vlny na $f = 144$ MHz:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{144 \cdot 10^6} = 2,082m \quad (4.1)$$

Nyní vypočítáme délku $\lambda/4$:

$$\lambda/4 = \frac{2,082}{4} = 0,52m \quad (4.2)$$

Nyní tuto délku vynásobíme štihlостním zkracovacím koeficientem. Tak započítáme i průměr materiálu použitého pro stavbu zářiče a budiče, $d = 3$ mm. Tím dostaneme skutečnou délku $\lambda/4$ a budeme tak moci anténu postavit.

$$\frac{l}{d} = \frac{0,5205}{0,003} = 173,5 \quad (4.3)$$

Dle Obr. 3.2 nalezneme námi hledaný koeficient k :

$$k * l = 0,952 \cdot 0,5205 = 495,5mm \quad (4.4)$$

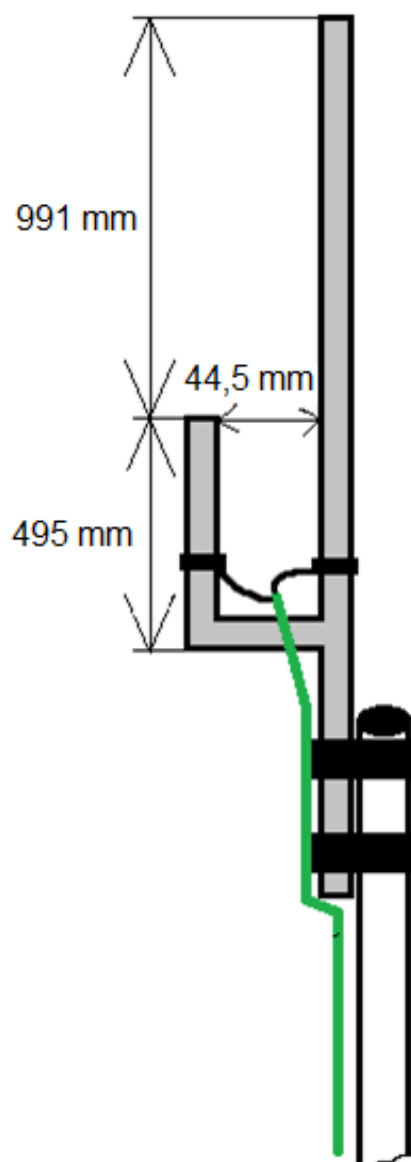
Výsledná délka budiče je 495,5 mm.

Délku zářiče nalezneme obdobně.

$$\lambda/2 = \frac{2,082}{2} = 1,04m \quad (4.5)$$

$$k * l = 0,952 \cdot 1,041 = 991mm \quad (4.6)$$

Délka zkracovacího můstku ve spodní části nemá na anténu vliv.

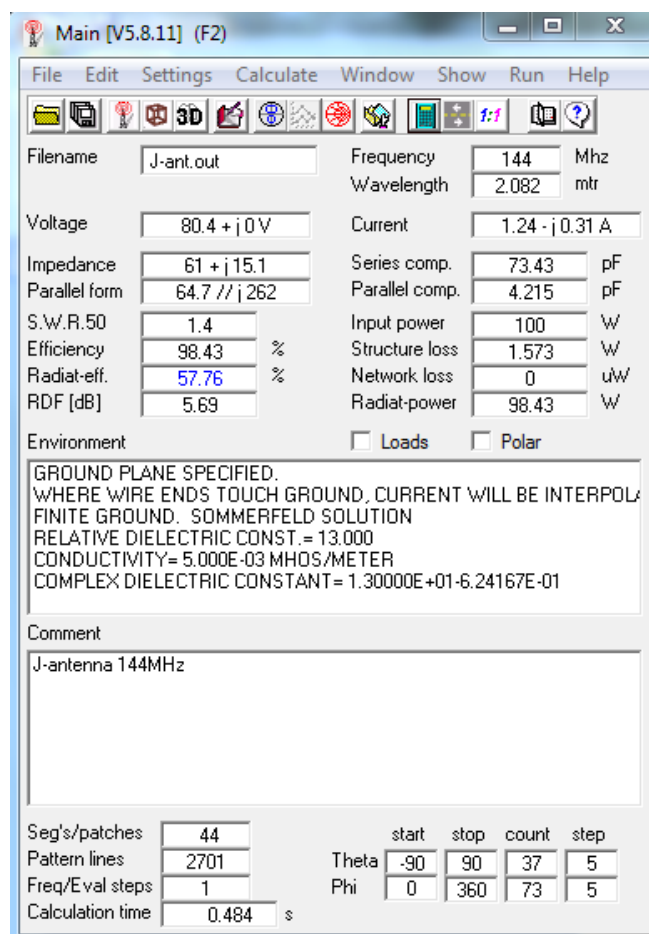


Obrázek 4.1 Návrh antény s rozměry

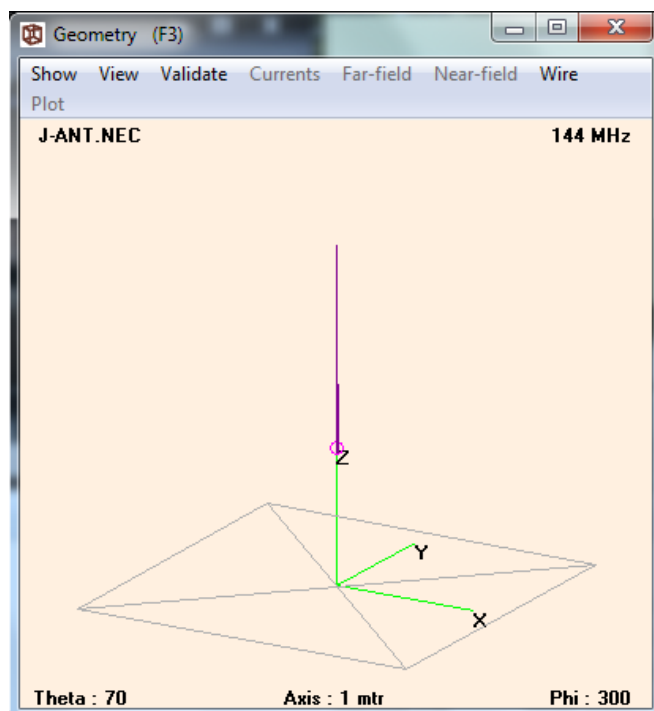
4.2 Simulace v programu 4NEC2

Numerický Elektromagnetický kód (NEC) je populární software pro modelování anténních vedení a povrchových antén. O to se zasloužil Gerald J. Burke a Andrew J. Poggio, software byl původně napsán v jazyce FORTRAN v roce 1970. Kód byl zveřejněn k dispozici pro obecné použití a následně byl distribuován na mnoha počítačových platformách.

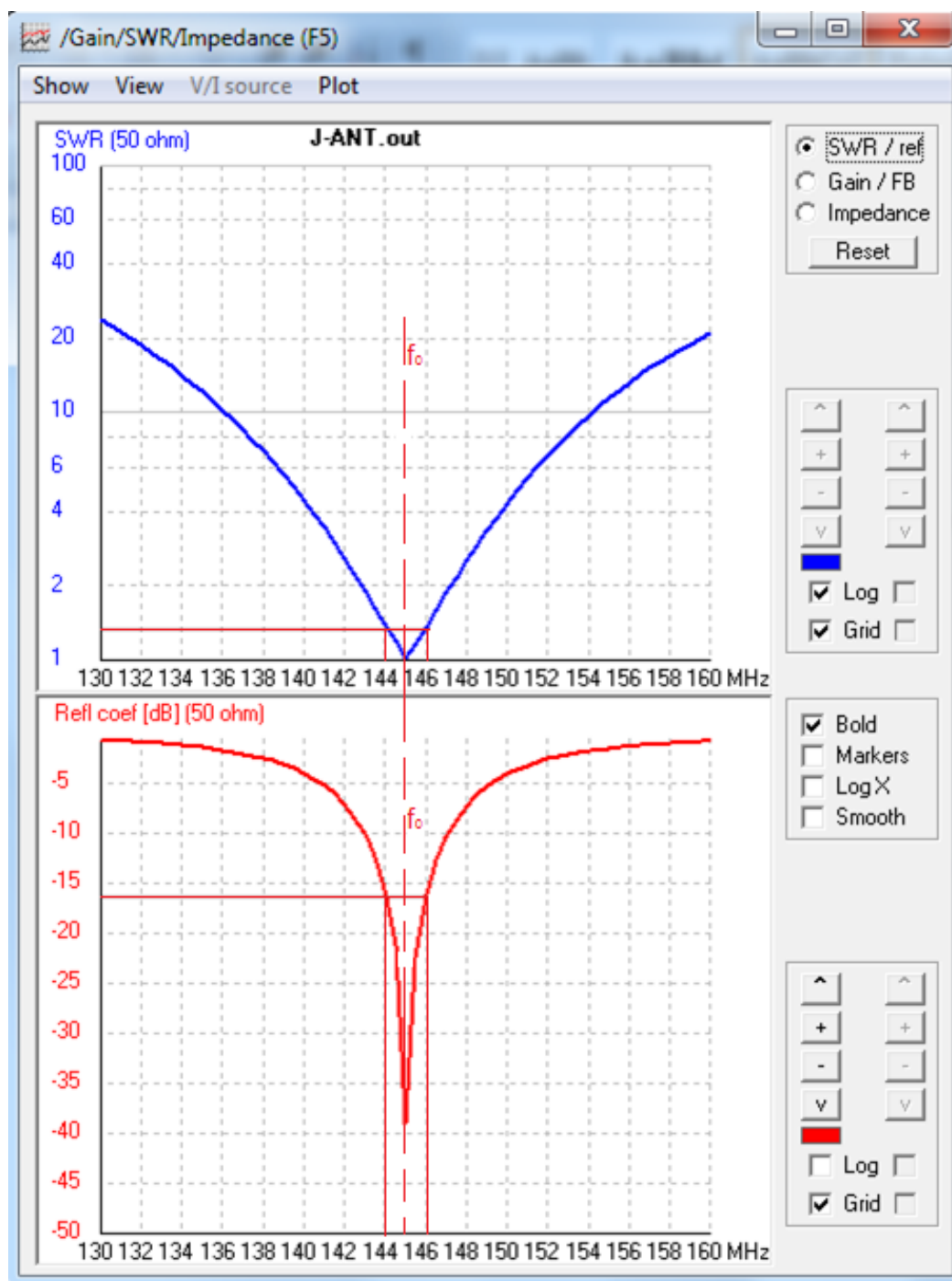
Výpočet anténních parametrů v programu se provádí následovně. Po spuštění programu si vybereme template naší antény a v nabídce edit nec input-file si upravíme hodnoty antény. V tomto případě stačilo zadat kmitočet $f_0 = 144 \text{ MHz}$ a výšku nad zemí 1m. Program pak vypočítal parametry J antény (obr. 4.2).



Obrázek 4.2 Výpočet parametrů antény

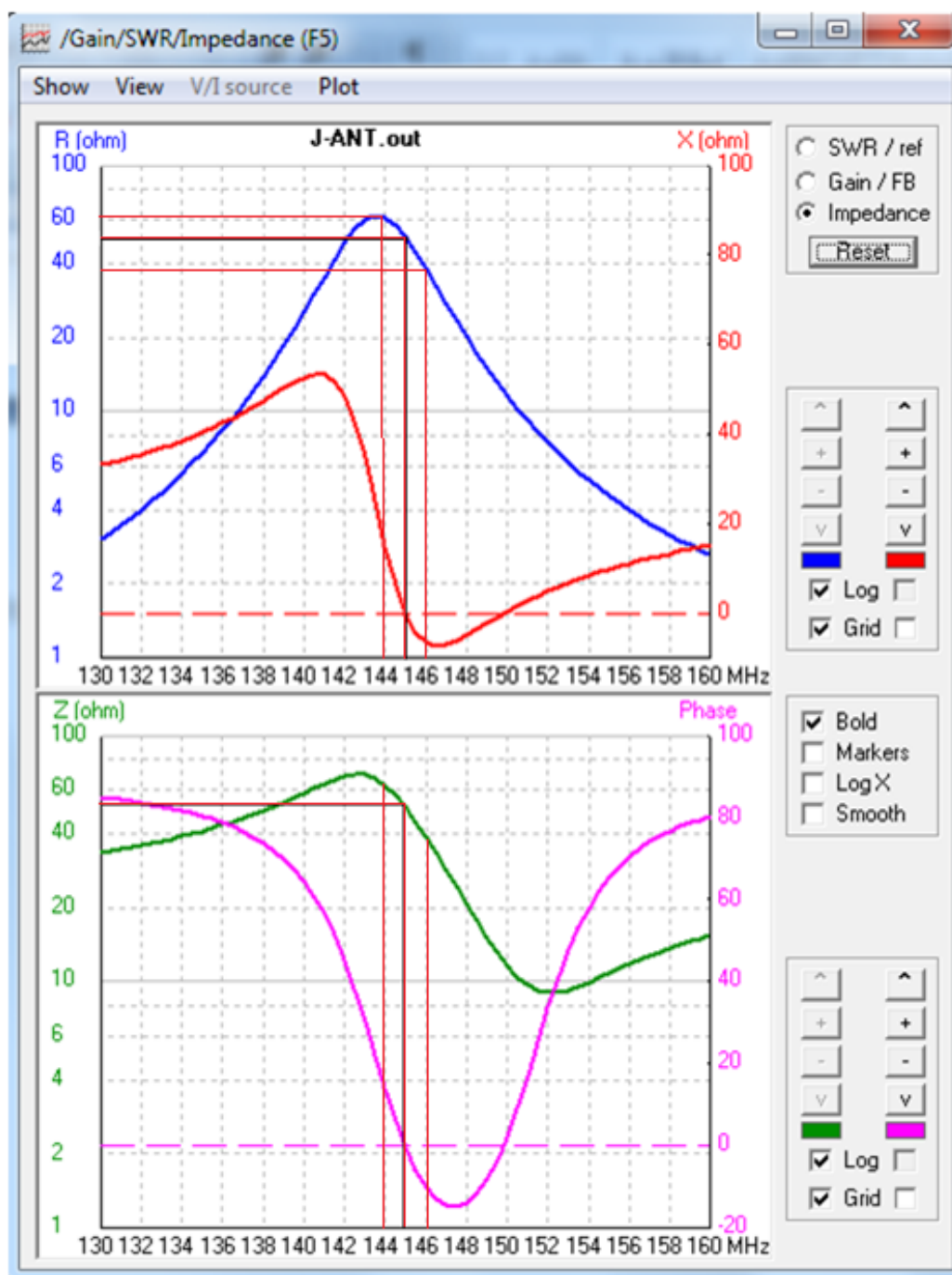


Obrázek 4.3 Náhled modelu J antény



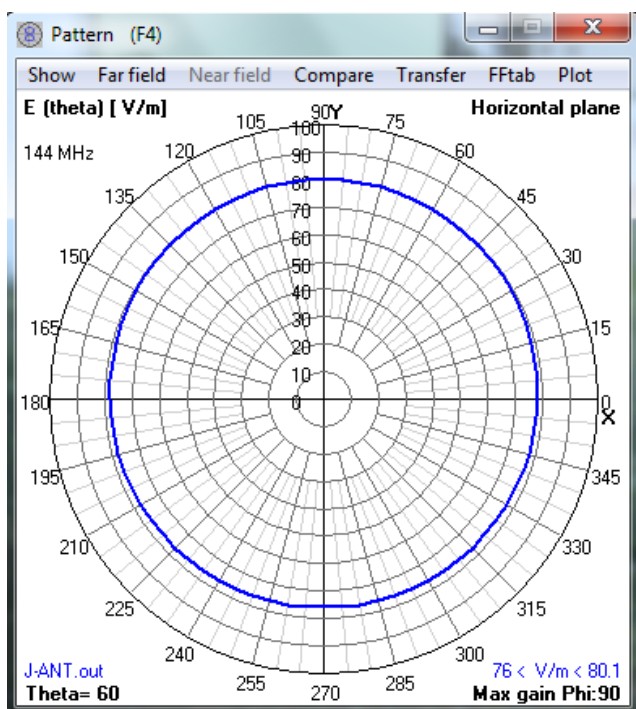
Obrázek 4.4 Graf SWR

Měření SWR hraje při ladění antén významnou úlohu. Tímto měřením nejen že zjistíme, jak na tom testovaná anténka je s přizpůsobením napáječi, ale můžeme jím také zjistit, zda není příliš velká, nebo malá a v případě potřeby podle výsledků měření spočítat, jak laděnou anténu rozměrově upravit. Z grafu vidíme, že naše anténa bude vykazovat nejnižší SWR při 145 MHz, jelikož jsme v pásmu 144-146 MHz, proto ideálně vyjde střední hodnota. Na Obr. 4.4 nahoře je vyznačena hodnota SWR pro pásmo 144 - 146 MHz, SWR bude 1,5 - což odpovídá našemu kmitočtu 144 MHz. Dolní graf vyjadřuje odraz energie od antény, při 145 MHz je odraz malý a anténa se chová nejlépe, naopak když se křivka blíží nule, veškerá energie se pak odráží od antény a téměř nic se nevyzařuje.

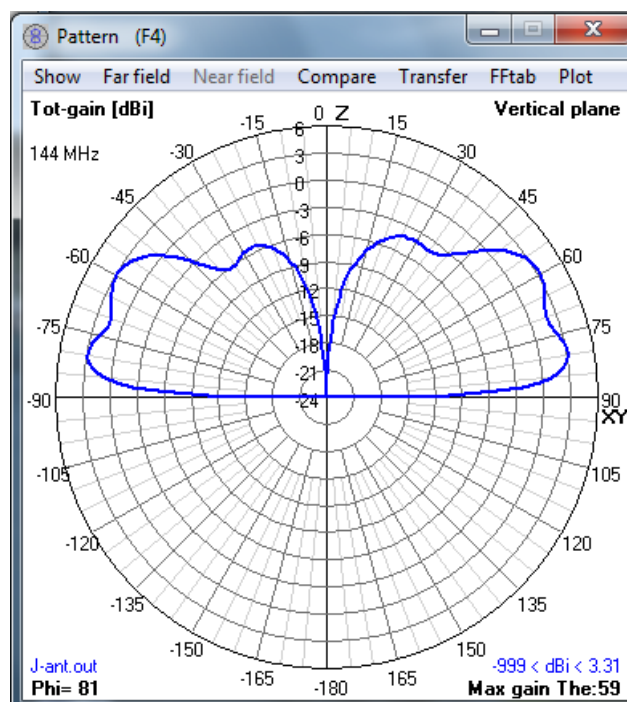


Obrázek 4.5 Graf Impedance

Odporová křivka v grafu nahoře ukazuje odpor R shodný s impedancí napáječe Z a výstupní impedancí antény, tedy $50\ \Omega$, viz graf nahoře. Reaktivní složka je rovna nule v kmitočtu, pro který jsme anténu vyvinuli, aby nedocházelo ke ztrátám, odrazům a zkreslení signálu. V dolním grafu je závislost impedance a fáze. V bodě průchodu fázové křivky nulou je indukance a kapacitance rovna nule, takže je impedance $Z = 50\ \Omega$.

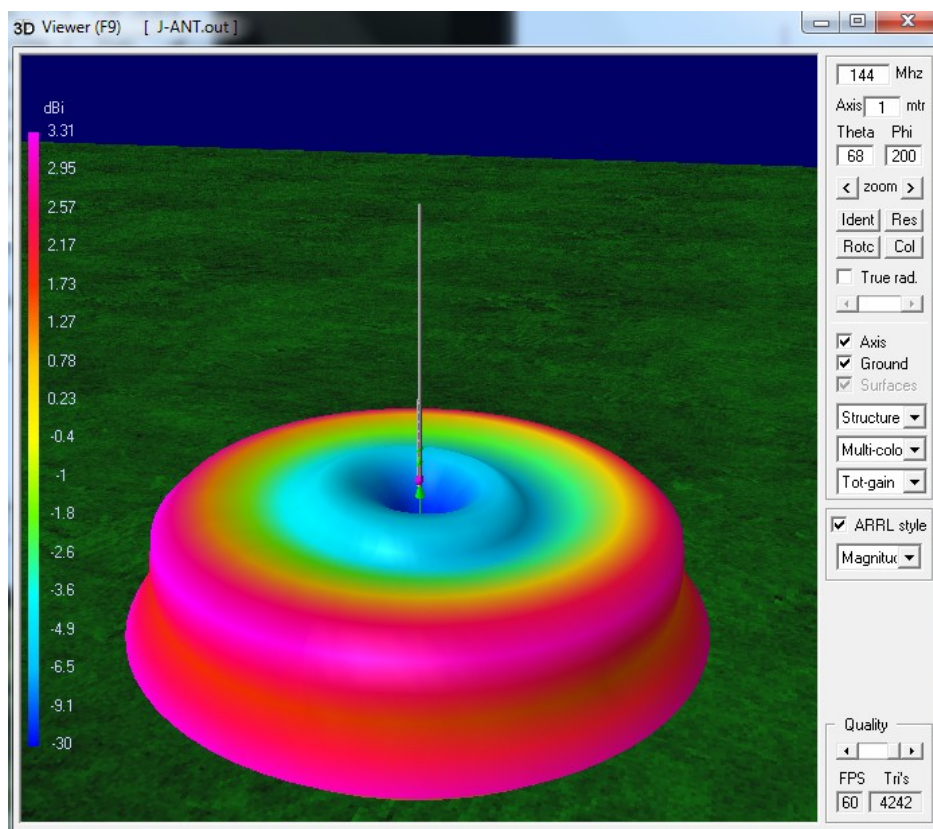


Obrázek 4.6 Záření (horizontální pohled)

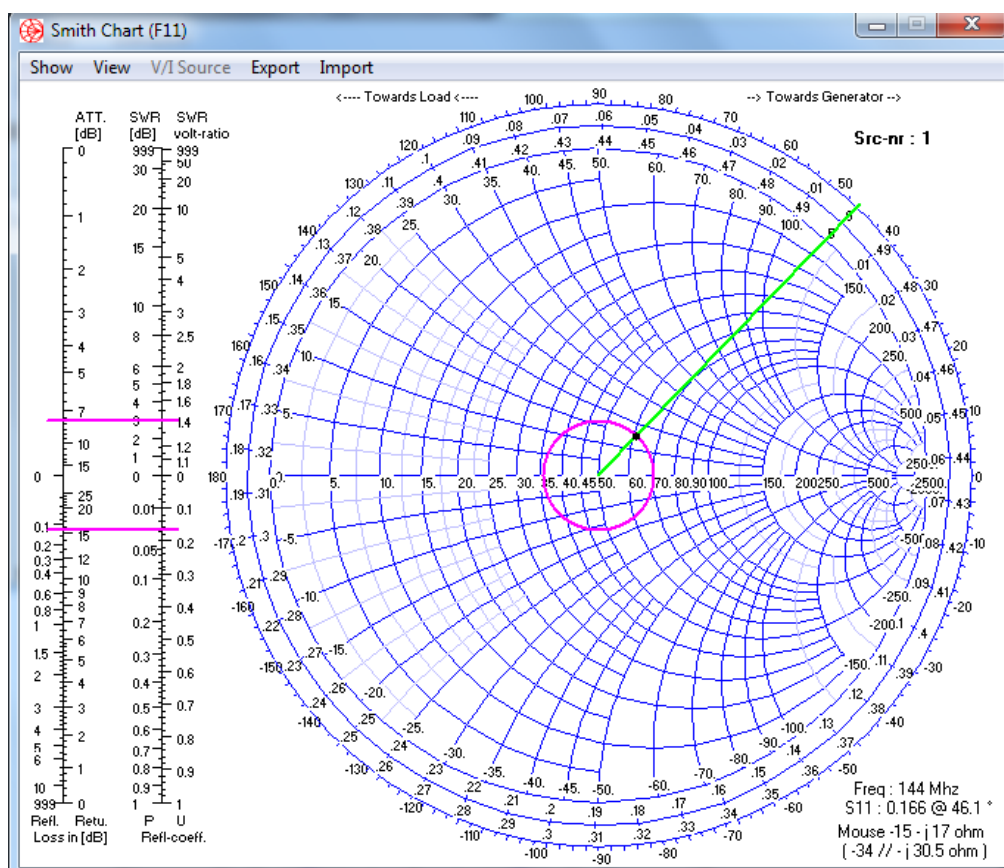


Obrázek 4.7 Záření (vertikální pohled)

Na obr. 4.6 vidíme vyzařovací charakteristiku naší antény při pohledu shora, kdežto na obr. 4.7 je znázorněn vertikální pohled, naše anténa vyzařuje pod úhlem cca 60°. Pro lepší představu znázorňuji 3D vyzařovací charakteristiku, obr. 4.8.



Obrázek 4.8 3D charakteristika



Obrázek 4.9 Smithův diagram

Analýza antény ve Smithově diagramu ukazuje $SWR=1,4$, impedance je $62,84\Omega$. //Vykreslí se impedanční bod a aktivní SWR je zobrazeno jako kruh. Na levé straně formuláře nalezneme ostatní informace, jako reflexe ztráty, SWR v dB, reflexivní-koefficient (U / I), reflexivní-koefficient (P) a zpětný útlum.

4.3 Realizace antény

Pro realizaci J antény bylo použito těchto součástí:

- 3x Fe drát o průměru 3 mm a délce 1m
- 2x šroubovací svorkovnice na uchycení coax. kabelu k anténě
- 1x šroubovací svorkovnice na uchycení zářiče
- 5 m koaxiálního kabelu RG-58
- lepidlo Soudal Fix All
- konektor PL

Většina součástí byla použita z domácích zásob, ale není problém je koupit v železářství. Koaxiál a koncový konektor lze koupit v obchodech s elektrotechnickým materiálem. Cena veškerého materiálu by byla cca 250 Kč.

4.3.1 Postup realizace

1) Postupujeme dle návrhu (Kap. 4.1), zářič zkonstruujeme tak, že vezmeme 1 svařovací drát a zkrátíme jej o 9 mm (Příloha A, Obr. A.3). Pro snadnější manipulaci vložíme mezi zářič a budič šroubovací svorkovnici.

2) Budič zkonstruujeme tak, že si odměříme 49,5cm a drát ohneme o 90°, poté odměříme 4,4cm a znova jej ohneme o 90° (Příloha A, Obr. A.4), vytvoříme tak tvar písmene U (Příloha A, Obr. A.7). Jelikož má drát délku 1 m, tak chybí na jedné straně cca 4 cm drátu, proto uřežeme 4cm z dalšího drátu a chybějící kousek nadcínujeme.

3) Do spodní části budiče nasuneme šroubovací svorkovnice pro připojení koaxiálního kabelu. Po spojení zářiče a budiče máme J anténu.

4) Následně vyvrtáme do hranolu 2 díry o průměru 1 mm pro připevňovací drát a drážku 3 mm x 30 mm a do ní dáme lepidlo a vložíme roh budiče, jež je pod zářičem a necháme zaschnout.

5) Ke šroubovacím svorkovnicím připojíme koaxiální kabel a na druhém konci kabelu připevníme koncovku PL (Příloha A, Obr.A.8).

4.3.2 Ověření parametrů měřením

Měření bylo provedeno na louce na horizontu ve vzdálenosti od překážek dne 30. 3. 2013. Bylo polojasno až oblačno s občasným větrem, teplota kolem 3°C. Pro měření byl použit analyzátor RigExpert AA520 (Obr. 4.18).

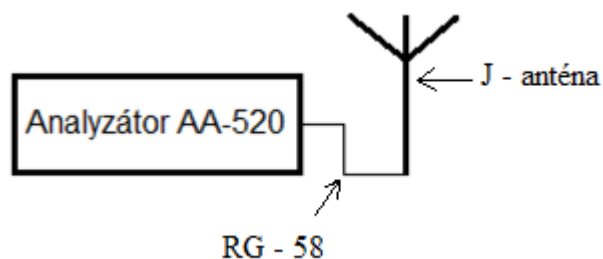
RigExpert AA-520 je výkonný anténní analyzátor určený pro testování, zkoušení, seřízení nebo opravu antén a anténních vedení v 1 - 520 MHz. Měří hlavně PSV a impedanci anténního systému. Má snadné použití měřících režimů, jakož i další funkce, včetně ukládání paměti a připojení k osobnímu počítači, což dělá AA-520 atraktivní pro profesionály i kutily. Klíčovým rysem tohoto analyzátoru je grafické zobrazení různých parametrů v širokém frekvenčním rozsahu, který výrazně snižuje čas potřebný pro nastavení antény. Rozsah přístroje je 1-520 MHz, krok 1 kHz, minimální měřicí rozsah 100 kHz a výkon 5 dBm.[10]

Funkce přístroje:

- Ladění antény do rezonance
- SWR a impedanční měření a porovnání před a po určité události (déšť, vichřice atd.)
- Tvorba koaxiálních vedení a měření jejich vlastností
- Kabelová lokalizace poruchy
- Měření kapacitních nebo indukčnostních reaktivních zátěží



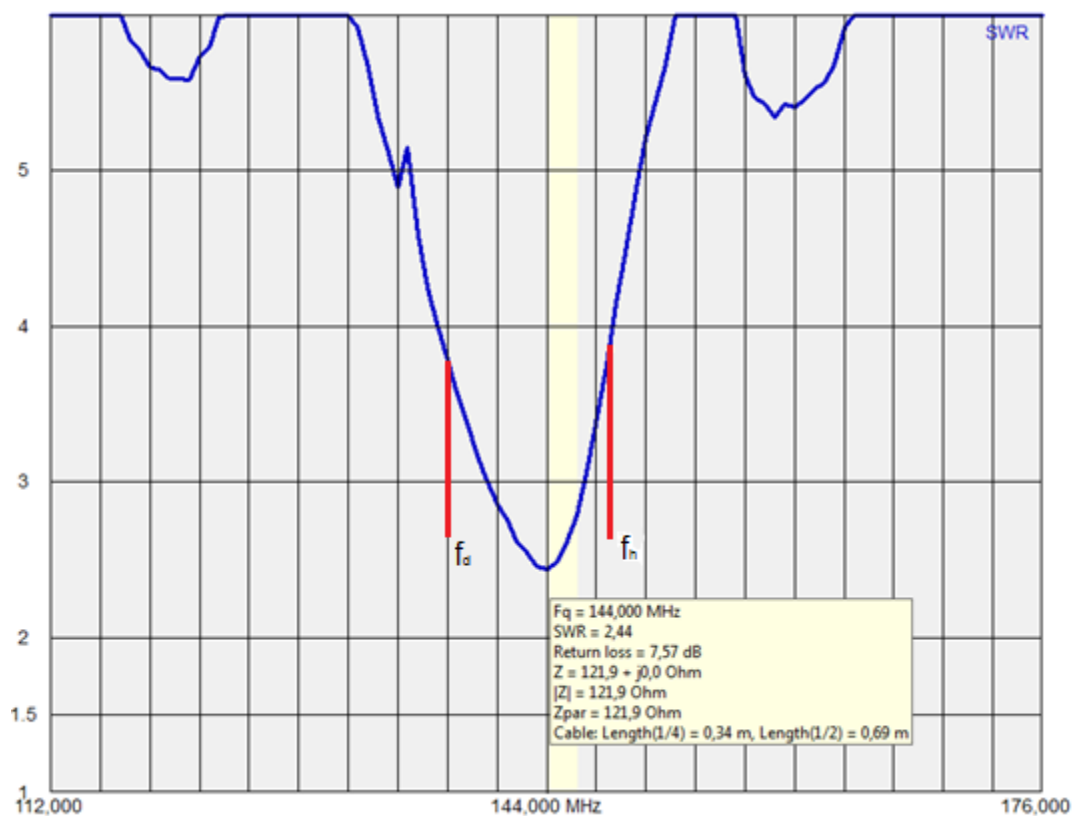
Obrázek 4.18 Analyzátor AA520[10]



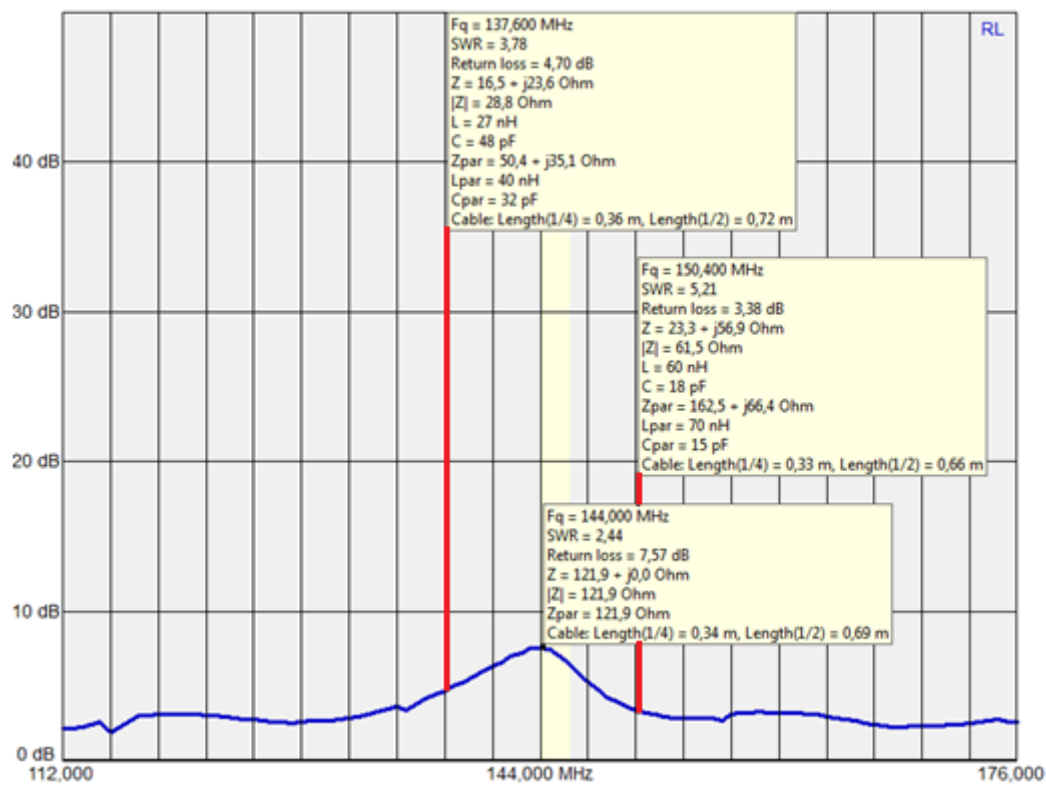
Obrázek 4.19 Schéma zapojení měření

K měřicímu přístroji byla připojena anténa dle schématu (Obr. 4.19). Po zapnutí přístroje byla nastavena frekvence na 144 MHz, bylo nastaveno kontinuální měření SWR a následně vyhledána nejnižší hodnota. Poté byly v přístroji uloženy vykreslené grafy SWR a impedance Z .

Na Obr. 4.20 hodnotu $SWR=2,4$ při rezonanční frekvenci $f_0 = 144$ MHz dosaženou při měření. Dále je vyznačena dolní f_d a horní f_h frekvence, takže šířka měřeného pásma je od 138 MHz do 147,7 MHz.

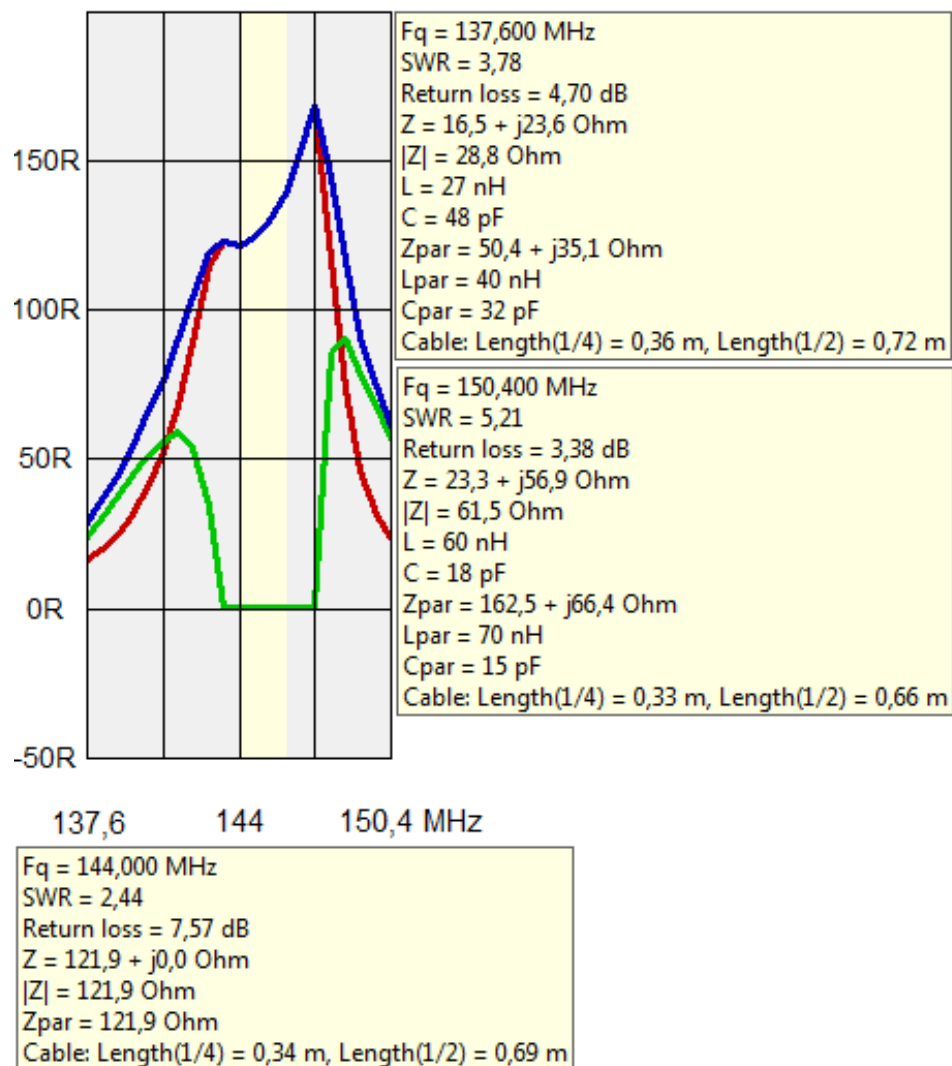


Obrázek 4.20 Graf SWR



Obrázek 4.21 Ztrátový diagram

Na obr. 4.21 vidíme výkon antény 7,57 dB při 144 MHz, v dalších kmitočtech, kde SWR překračuje hodnotu 3 je účinnost přenosu 75% a útlum 1,2 dB, při 137,6 MHz je SWR 3,78 a výkon poklesl na 4,7 dB, když je SWR 5 a více jako při 150,4 MHz, kdy je výkon 3,38 dB je již anténa k ničemu a hrozí zhroucení.



Obrázek 4.22 Graf Impedance

V grafu (Obr. 4.22) vidíme pokles reaktivní složky (zelená křivka) až k nule a její růst za pásmem 144 – 146 MHz. Dostáváme tedy ve 144 MHz impedanci (modrá křivka) a odpor (červená křivka) sobě rovny, takže výsledná impedance je bez zkreslení.

4.3.3 Zhodnocení měření

Výsledky měření se liší od simulace díky délce použitého koaxiálního kabelu. Tím že délka kabelu byla 5m došlo ke změně impedance. Kdyby byl při měření použit kabel o délce 66cm nebo by byl při měření použit impedanční opakovač bylo by měření shodné se simulací. Výsledky měření jinak odpovídají, když si např. vynásobíme impedanci koaxiálního kabelu s výsledným SWR dostaneme impedanci jež vyšla v měření (Obr. 4.19). Terén neměl na měření vliv, jelikož se měření odehrálo na horizontu kopce. Měření jsem provedl i v zahradě mezi rodinnými domy, vzdálenost mezi domy je cca

50 m. Výsledky měření byly shodné s prvním měřením. Rozměry postavené antény se mohou v rámci desetin milimetru až maximálně 1 mm lišit od návrhu, což se lehce projeví na naměřených hodnotách.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat J anténu, vytvořit návrh, funkční model a nakonec ověřit správnost návrhu a konstrukce měřením. V teoretické části této práce byl obecně popsán princip antén a jejich nejdůležitější parametry, pro porozumění celkové problematice antén. Po obecném popisu antén následuje teoretická analýza J antény, historie, konstrukční prvky, ze kterých se skládá a také její variace zvaná Slim Jim. Praktická část se skládá z návrhu J antény pro rezonanční kmitočet 144 MHz, simulace, praktické realizace a proměření parametrů zkonstruované antény. Návrh zahrnoval výpočet geometrické délky všech prvků antény potřebných k jejímu sestavení a ověření simulací v programu 4NEC2. Po úspěšné simulaci byl teoretický návrh přenesen do praxe zkonstruováním antény pro zadaný kmitočet. Nakonec byla správnost návrhu ověřena změřením parametrů přizpůsobení antény k napáječi (SWR a vstupní impedance). Jediným problémem, který se při měření vyskytl, byla délka koaxiálního kabelu. Pro zamezení tomuto problému doporučuji použít impedanční opakovač.

Použitá literatura

- [1] MATUSZCZYK, Jacek. Antény prakticky. 3. české vyd. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-730-0178-0.
- [2] F.C. Judd. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.fcjudd.co.uk/>
- [3] Anténa typu J. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.ok1sdi.estranky.cz/clanky/antena-typu-j.html>
- [4] Anténa Slim Jim. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.ok1sdi.estranky.cz/clanky/antena-slim-jim.html>
- [5] IKRÉNYI, Imrich. *Amatérske krátkovlnové antény*. Bratislava: Vyd'avatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1972.
- [6] Radiokomunikační technika. Ostrava, 3.4.2011. Cvičení. VŠB-TUO. Vedoucí práce Ing. Marek Dvorský, Ph.D.
- [7] VF kabely. [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?255&vf_kabely
- [8] Přednášky z amatérské ra. [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://om6bb.bab.sk/files/HAM%20Kniznica/Prednasky/Gumickova/Gumickova%202-4.PDF>
- [9] Antény Zeppelin. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://anteny.webz.cz/articles/cz/Zepp1.htm>
- [10] *RigExpert AA-520* [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.rigexpert.com/index?s=aa520>

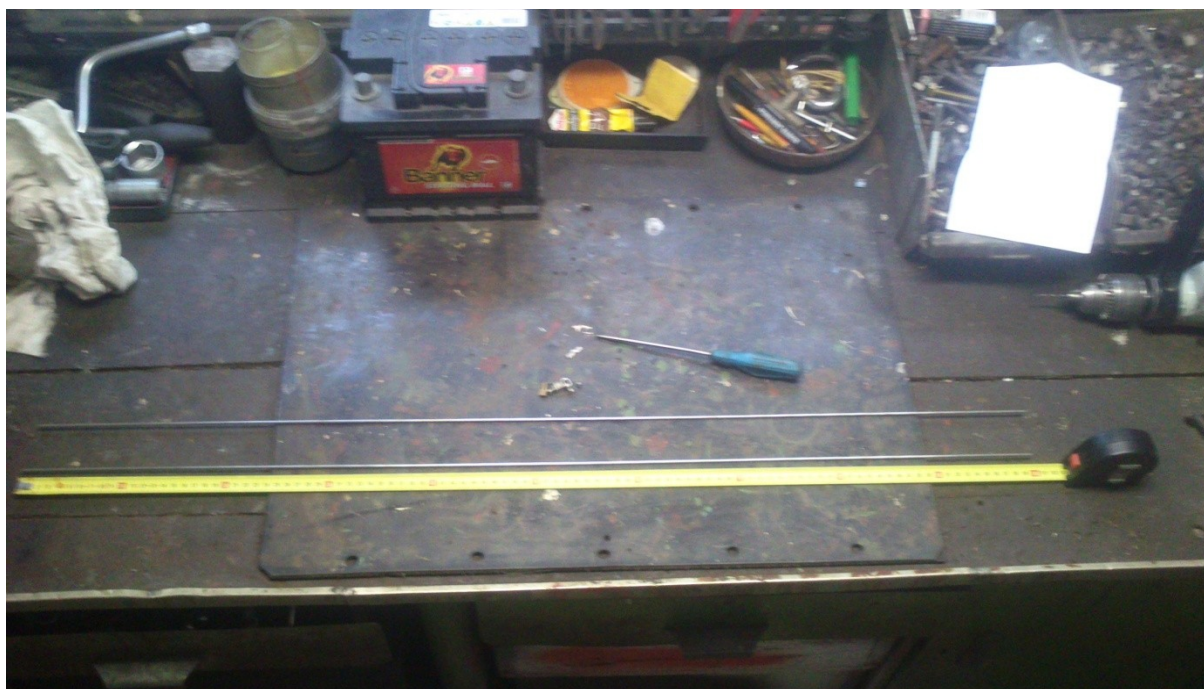
Seznam příloh

Příloha.A:	Fotografie z výroby J antény	xxviii
Příloha.B:	Fotografie z měření J antény	xxxii

Příloha.A: Fotografie z výroby J antény



Obrázek A.1



Obrázek A.2



Obrázek A.3



Obrázek A.4



Obrázek A.5



Obrázek A.6



Obrázek A.7

Priloha.B: Fotografie z měření J antény



Obrázek B.1



Obrázek B.2



Obrázek B.3